Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. E. Bock

Blutvolumenbestimmung mit dem Volemetron

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Martin G. Gottwik
aus Münsingen

1965

8421

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. E. Bock

Blutvolumenbestimmung mit dem Volemetron

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Martin G. Gottwik
aus Münsingen

1965

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Dekan: Professor Dr. W. Schulte

1. Berichterstatter: Priv.Doz. Dr. W. Kaufmann (Prof. Dr. H.-E. Bock)
2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Bartels

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meinem Vater

Dr. med. Erich Gottwik

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547609_0067

Inhaltsübersicht

Einleitung und Fragestellung.

Methodik

Ergebnisse und Diskussion

1. Normalwert für die Methode
2. Erste Ergebnisse an Kranken
   a) Blutvolumen bei Über- bzw. Untergewicht
   b) Blutvolumen bei Herzinsuffizienz
   c) Blutvolumen bei Polyglobulie
   d) Blutvolumen bei Polycythämie
3. Blutvolumen unter den Bedingungen balneologischer Belastung.
4. Blutvolumenkontrolle vor und nach extracorporaler Dialyse.
5. Zusammenfassung und Literaturverzeichnis.

Dazu 10 Tabellen, 4 Diagramme und 6 Abbildungen.

EINLEITUNG und FRAGESTELLUNG

Nachdem die 1854 von WELCKER angegebene, "direkte Methode" der Blutvolumenbestimmung begreiflicherweise keine große Verbreitung erfahren konnte, bemühte man sich bald auf mehr indirekte Weise Blutvolumina zu bestimmen. Bereits 1882 experimentierte QUINQUAUD mit CO-Atmung und Messung der Blutkonzentration. Um die Jahrhundertwende versuchten sich COHNSTEIN und ZUNTZ in der Zählung von Erythrocyten vor und nach Infusion isotonischer Lösungen. McQUARRIE und DAVIS bemühten sich, die optische Dichte vor und nach Injektion kolloidaler Flüssigkeiten zu messen. 1915 machten ROWNTREE und GERATHY ihre bahnbrechenden Versuche mit der von ihnen entwickelten Farbstoffverdünnungsmethode, die als Blutvolumenbestimmung mit Evans Blue allerorts ihren Einzug in die Klinik hielt.

Eine Möglichkeit zur Messung des intravasalen Volumens stand zur Verfügung, nun tauchte die Frage nach Blutvolumenänderungen, Blutreserven und Blutdepots auf. Mit ihr die Namen GAUER und HENRY (20), SJÖSTRAND (41), Ellen BROWN (11), STEINBECK (44), WOLLHEIM (53). Die Frage einer Blutspeicherung im menschlichen Körper wurde diskutiert. Die Begriffe der "aktiven und passiven Blutmenge" wurden von WOLLHEIM geprägt. REIN führte die Bezeichnung "Blutspeicher erster -, zweiter - und dritter Ordnung" in das physiologische Vokabular ein. Wie uns KAUFMANN und MÜLLER (26) zeigten, gewinnt die Blutvolumenregulation an Bedeutung, als vermittelnder Faktor in der Wasser- und Elektrolytverschiebung innerhalb der verschiedenen Flüssigkeitsräume des Körpers, gesehen im Zusammenhang mit der Wasserausscheidung durch die Niere. So wurde dem Blutvolumen und seiner Regulation in den letzten Jahren ein bedeutender Platz in der klinischen Forschung eingeräumt.

Da seit ungefähr 25 Jahren markierte Substanzen in die Klinik eingeführt sind, welche auf Grund ihrer verhältnismässig leichten Handhabung und der guten Ergebnisse, die aus damit

angestellten Messungen resultieren, auf immer neuen Gebieten Verwendung finden, versucht man seit ungefähr zehn Jahren, sich ihrer auch in der Blutvolumenbestimmung zu bedienen.

Bisher wurden drei verschiedene, im Prinzip völlig gleiche Wege eingeschlagen, um mit Hilfe radioaktiv markierter Substanzen das Gesamtblutvolumen (TBV) zu bestimmen. Der Grund dafür liegt in den, durch die beiden Fraktionen des Blutes Rotes Zellvolumen (RZV) und Plasmavolumen (PV) gebotenen Möglichkeiten (34).

1. Messung des RZV durch Verteilung radioaktiv markierter Erythrocyten in der Blutbahn.
   Zur Markierung eignen sich mehr oder weniger folgende Elemente: Fe^{59}, Fe^{55}, P^{32}, K^{42}, Rb^{86}, Cr^{51}. Das TBV wird über den Hämatokrit (Hk) errechnet.

   $$TBV = RZV \cdot 100/Hk$$

2. Messung des PV durch Verteilung von markiertem Protein, Albumin oder Globulin.
   Das TBV wird wieder über den Hk errechnet:

   $$TBV = PV \cdot (100-Hk)/100$$

3. Der dritte und genaueste Weg ist die von einander unabhängige Messung des RZV und PV. (z.B. RZV mit Cr^{51} und gleichzeitig PV mit J^{131}). Das TBV ergibt sich ohne Zuhilfenahme des Hämatokrit aus: (34)

   $$TBV = RZV + PV$$

Keine der beschriebenen Methoden konnte so vereinfacht werden, daß wiederholte Bestimmungen möglich wurden. Diese Situation änderte sich mit der Einführung des sogenannten "Volemetron", das von der Firma Atomium & Co. (Billerica Massa. USA) entwickelt wurde. Mit diesem Gerät kann ohne großen Aufwand an Material und Bedienung in einfacher Weise das Gesamtblutvolumen bestimmt werden.

Der Medizinischen Universitätsklinik steht das Volemetron seit 1963 zur Verfügung. Es wird seitdem zu Blutvolumenbestimmungen eingesetzt. Aufgabe der Untersuchungen, über die im folgenden berichtet werden soll, war:

1. die mit dem Volemetron durchgeführten Volumenbestimmungen in Modellversuchen auf ihre Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu prüfen;

2. die Normalwerte an Kreislauf- und Stoffwechselgesunden festzulegen;

3. erste Ergebnisse am Kranken mit verändertem zirkulierenden Blutvolumen zu ermitteln;

4. einen Beitrag zur Frage der Blutvolumenregulation unter den Bedingungen balneologischer Belastung zu liefern;

5. der Versuch, eine Blutvolumenabnahme während der extracorporalen Dialyse nachzuweisen.

METHODIK

Das Gerät arbeitet nach dem "Verdünnungsprinzip";

$$V = M/C$$

Das Volumen (V) eines Raumes, in welchem sich eine Substanz verteilt, wird bestimmt durch die Messung der Konzentration (C) einer bestimmten Menge (M) der Testsubstanz in diesem Raum. Voraussetzung ist, daß sich die Testsubstanz gleichmässig im gesamten Raum verteilt.

M und C wird bestimmt aus der gemessenen Netto-Aktivität und dem Gewicht oder Volumen einer, mit physiologischer NaCl-Lösung verdünnten, festgelegten Menge von Testmaterial, nämlich mit J^{131} markiertem Humanalbumin. Somit ist die erreichbare Genauigkeit einer Bestimmung von (V) davon abhängig, wie genau (M) und (C) definiert werden kann.

Bei der Konstruktion des "Volemetron" wurden insbesondere folgende Fehlerquellen berücksichtigt: (50)

a) Fehler aus der Zahlstatistik
b) Schwankung des Nulleffektes während der Messung
c) Aktivitätsverlust durch Adsorption von Testmaterial an Glaswaren
d) Verlust von Testmaterial bei der Injektion

Zu ihrer weitgehenden Beseitigung wurde die Gleichung $V = M/C$ in drei Arbeitsgänge zerlegt:

1. Arbeitsgang: Die direkte Messung der Radioaktivität des mit J^{131} markierten Humanalbumins in der Injektionsspritze. Das Zählerergebnis bleibt im Speicher des Zählers.

2. Arbeitsgang: Dieser beginnt nach der Injektion der Testsubstanz: Die leere Spritze wird noch einmal in den Zähler gebracht, die in der Spritze verbliebenen Reste der Testsubstanz werden direkt gemessen und für den Nulleffekt in den ersten beiden Messungen korrigiert. Das Resultat wird automatisch von dem des ersten Arbeitsganges subtrahiert.

3. Arbeitsgang: Dabei wird C durch gleichzeitige Messung in festgelegten Blutmengen, die vor und nach der Injektion der Testsubstanz abgenommen wurden, bestimmt. Das Gerät korrigiert wieder automatisch für den Nulleffekt und errechnet elektronisch M/C = V.

Technische Durchführung der einzelnen Arbeitsgänge:

1. Die Aktivität der Injektionsdosis wird nach dem "Prinzip der geometrischen Abschwächung" gemessen. Zwei Scintillationsempfänger registrieren, während einer bestimmten Zählzeit einen konstanten Bruchteil des radioaktiven Zerfalls des J^{131} in der Testsubstanz und übermitteln diesen dem Digitalspeicher.

Operationsstufe 1: Probenzählung, Zeit automatisch voreingestellt

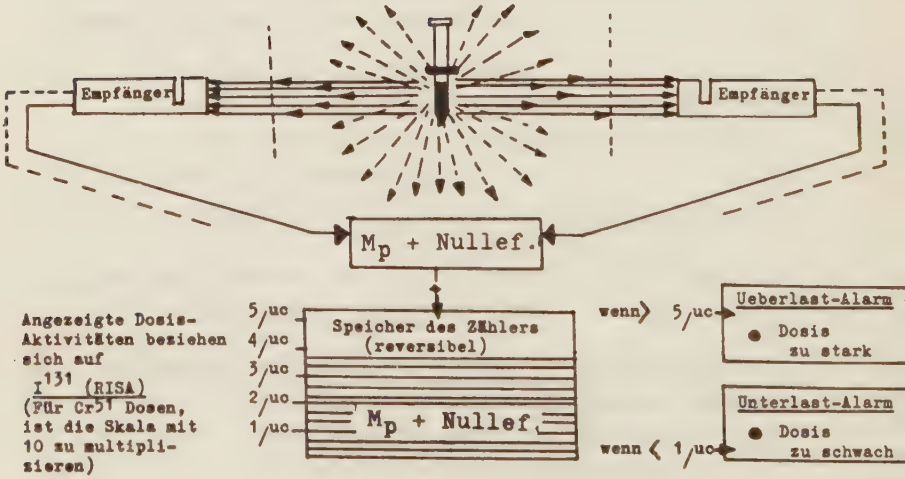


Abb.1.

(Abgeändert nach J.Williams u. J.Fine.)

Abkürzung: M_p: Vor Gebrauch in der Testspritze enthalte Gesamttestsubstanz.

2. Auf gleiche Weise werden die Aktivität der leeren Spritze und der Nulleffekt gemssen und übermittelt, das heißt vom Ergebnis der ersten Messung abgezogen.

Operationsstufe 2: **Subtraktion der Restaktivität und des Null-effektes während einer voreingestellten Zeit**

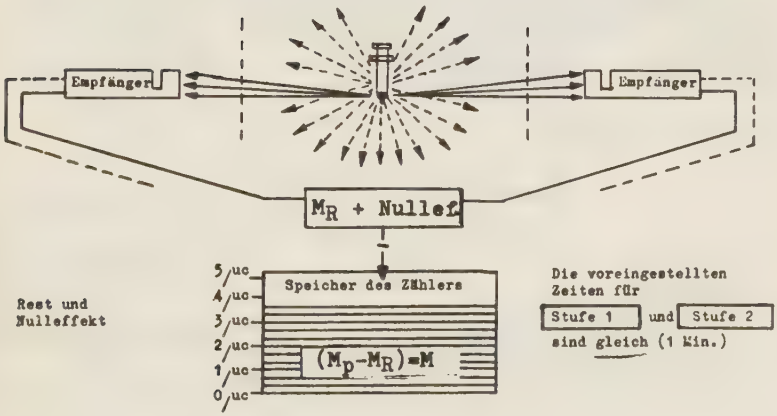


Abb.2.

(abgeändert nach J.Williams u.J.Fine.)

Abkürzung: M: Injzierte Gesamtdosis.
M_R: Restsubstanz nach Injektion.

3. Die Differenz zweier Zählergebnisse (aus dem Blut vor und nach der Injektion des J^{131} markierten Humanalbumins) wird vom Zähler des Speicherinhalts so, wie er nach dem zweiten Arbeitsgang steht, abgezogen. Dieser Vorgang dauert so lange, bis der Zähler wieder auf Null zurückgestellt ist. Die dazu benötigte Zeit (t) wird von einer Uhr automatisch gestoppt. Aus dem Vorhergegangenen wird ersichtlich, daß $M = C \cdot t$ sein muß. Da $M = C \cdot V$, ist V linear abhängig von t. Daraus wiederum ergibt sich die Möglichkeit, V direkt auf einer in Millimetern geeichten Skala abzulesen.

Operationsstufe 3: **Bestimmung der korrigierten Zählrate der Nachmischprobe, Rechnung, Anzeige von V**

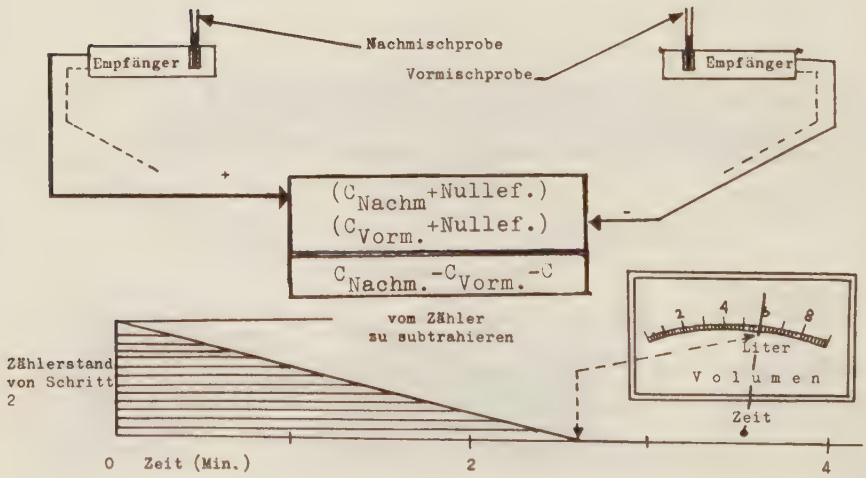
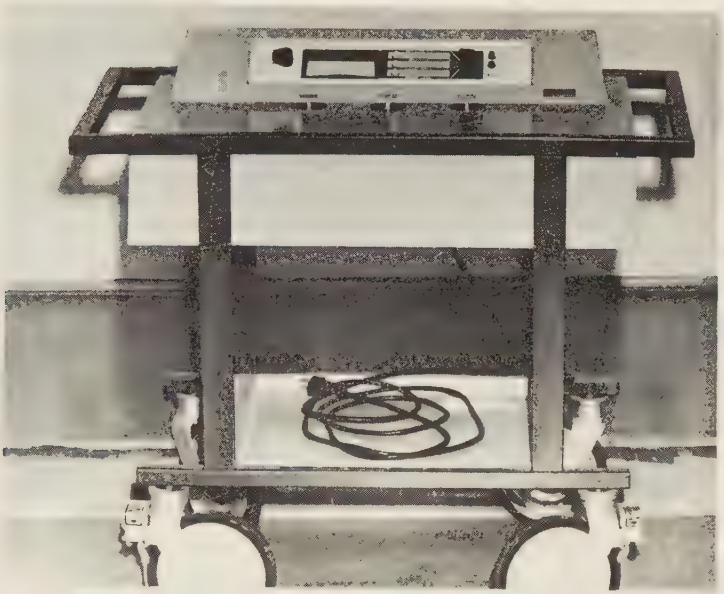


Abb.3.
(abgeändert nach J.Williams u. J.Fine.)

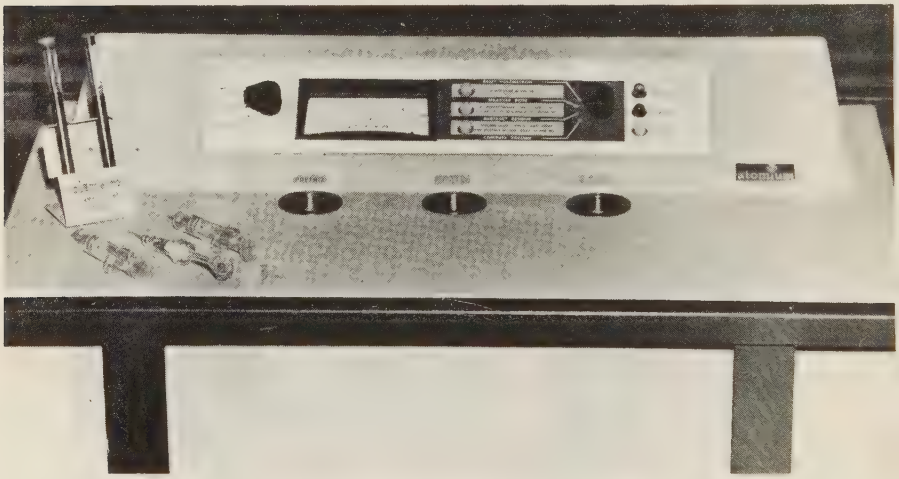
Abkürzung: $C_{Vorm.}$: Leerwert, Konzentration an akt.Subst.
$C_{Nachm.}$: Leerwert, Konzentration an akt.Subst.

Bedienung und Wartung:

Das auf einem Wagen montierte Gerät ist, bei seinem Gewicht von 120 kg, sehr handlich und beweglich.



Das Zubehör, Manoletten, welche das markierte Humanalbumin enthalten, sowie heparinisierte, durchsichtige Kunststoffröhrchen zum Einfüllen des Testblutes, werden gebrauchsfertig geliefert.



Zubehör
1. "Premix Sample Tube", heparinisiert, für Leerwert.
2. "Postmix Sample Tube", heparinisiert, für Messwert.
3. Abnahmespritzen und Tracersubstanz.

Die Anordnung der Armaturen ist übersichtlich und praktisch. Durch eine eingebaute Sicherung ist es unmöglich, zu starke oder zu schwache (alte) Testsubstanz zu verwenden.

Die Bestimmung eines Blutvolumens erfordert folgende Arbeitsgänge in einem Zeitraum von ungefähr 15 Minuten:

1. Messung der Aktivität in der Testspritze.
2. Entnahme von ca. 10 ml Blut aus einer Vene des Unterarmes, welches in das heparinisierte "Premix Sample Tube" eingefüllt wird.
3. Injektion der Testdosis durch die liegende Kanüle.
4. Messung der in der Spritze zurückgebliebenen Aktivität.
5. Abnahme von 10 ml Blut aus der Vene des anderen Arms, nach einer Durchmischungszeit (DMZ) von 10 Minuten, es wird in das vorbereitete "Postmix Sample Tube" gefüllt.
6. Vergleichende Messung der Aktivität im Blut vor und nach der Injektion der Testdosis und Berechnung der Gesamtblutmenge.

Daraus kann jeweils über den Hämatokrit das rote Zellvolumen (RZV) und das Plasmavolumen (PV) errechnet werden.

ERGEBNISSE und DISKUSSION

Versuche zur Testung des Gerätes hinsichtlich Volumenkonstanz.

Es sei gleich vorausgeschickt, daß die Möglichkeiten dazu bei einem automatisierten Vorgang sehr gering sind. Bei jeder einzelnen Messung handelt es sich um ein "Count Down"+) von sechs verschiedenen Punkten, von denen weder einer ausgelassen, noch variiert werden kann.

Da außerdem bei jeder Bestimmung die Ausgangsbasis für die ganze Messung, die Testdosis durch Injektion verloren geht, muß vor jeder Reihenbestimmung mit successiver Änderung des Volumens eine "konstante Testsubstanz" aufgestellt werden. Das wurde dadurch erreicht, daß nach der ersten Messung eine zweite Testsubstanz aus der gleichen Verpackungsserie als "konstante Testsubstanz" zum Besteck (Premix Sample Tube, Postmix Sample Tube, Leerspritze) der ersten Messung gemessen wurde. So war es möglich mit der so geeichten Testsubstanz ohne deren Injektion verschiedene geänderte Volumina zu messen.

+) Hierbei handelt es sich um einen der Raketensprache entliehenen Begriff. Man meint damit eine bestimmte Anzahl von Arbeitsgängen mit vorgeschriebener Zeit- und Reihenfolge.

I) Untersuchungen mit einer definierten Menge Wasser

	Vorgelegtes Volumen	Meßergebnis (Volemetron)
a) Nach vorheriger Entnahme eines Leerwertes eine Testdosis in 3 l Wasser 3 Min. geschüttelt.	3,0 l	3,1 l
b) Eichung einer zweiten Testdosis durch Messung des Bestecks von a) mit einer Testdosis aus derselben Verpackungsserie (nicht injiziert).	3,0 l	3,1 l
c) Auffüllung des vorgelegten Volumens von a) bzw. b) auf 5 l. Entnahme eines neuen Messwertes.	5,0 l	5,25 l
d) Messwert von Versuch c) als Leerwert des Versuchs d). Injektion der geeichten Testdosis von Versuch b). Entnahme eines Messwertes von Versuch d).	5,0 l	5,0 l
e) Wiederholung der Messung von Versuch d) mit neuer Testdosis aus derselben Verpackungsserie (nicht injiziert).	5,0 l	4,9 l

	Vorgelegtes Volumen	Meßergebnis (Volemetron)
f) Wiederholung der Messung von Versuch e) nach Zufüllen von 3 l Entnahme eines neuen Messwertes.	8,0	über 10,0 l

Der größte Fehler bei diesen Versuchen a) - e) lag bei +/- 3 %. Das schlechte Ergebnis von Versuch f) ist unter Umständen darauf zurückzuführen, daß sich das Albumin in der großen Wassermenge an der Oberfläche oder am Plastikbehälter niedergeschlagen hat (25).
Siehe zweite Serie!

II) Untersuchungen mit einer definierten Menge Wasser unter Zusatz von 40 ml Serum.

Um diesen Effekt zu vermeiden, das heißt eine bessere Mischung des Humanalbumins mit Wasser zu erreichen, wurden in das Mischgefäß 40 ml Abfallserum gegeben. Die einzelnen Mischungen wurden je 3 Min. kräftig geschüttelt.

	Vorgelegtes Volumen	Meßergebnis (Volemetron)
a) Testdosis a) in 2 l Wasser nach Entnahme eines Leerwertes.	2,0 l	2,0 l
b) Versuchsanordnung von Versuch a) gemessen mit Testdosis von Versuch b) aus derselben Verpackungsserie.	2,0 l	1,8 l

	Vorgelegtes Volumen	Meßergebnis (Volemetron)
c) Wiederholung von Versuch b) nach Zufüllen von 1 l Wasser und Entnahme eines Messwertes.	3,0 l	3,0 l
d) Versuchsanordnung b) mit einem weiteren 1 Wasser. Entnahme eines Messwertes.	4,0 l	4,0 l
e) Versuchsanordnung b) mit weiteren 2 l Wasser. Entnahme eines Messwertes.	6,0 l	5,9 l
f) Versuchsanordnung b) mit weiteren 2 l Wasser. Entnahme eines Messwertes.	8,0 l	8,0 l

III) Untersuchungen mit definierter Wassermenge, die fraktioniert erhöht wurde.

Auffüllung von 3 l Wasser, darin 40 ml Serum, auf 4 l in 10 Stufen.

a) Entnahme eines Leerwertes. Injektion der Testdosis in 3 l. Entnahme eines Messwertes.	3,0 l	3,0 l
b) Versuchsanordnung a) gemessen mit Testdosis b) aus derselben Verpackungsserie.	3,0 l	3,1 l

c) Stufenweise Auffüllung, Versuchsanordnung b) jeweils Entnahme eines Messwertes.

	Vorgelegtes Volumen	Meßergebnis (Volemetron)
1.	3,1 l	3,2 l
2.	3,2 l	3,2 l
3.	3,3 l	3,3 l
4.	3,4 l	3,5 l
5.	3,5 l	3,5 l
6.	3,6 l	3,7 l
7.	3,7 l	3,8 l
8.	3,8 l	3,8 l
9.	3,9 l	4,0 l
10.	4,0 l	4,0 l

Der Versuch zeigt, daß das Gerät Wasser-Volumenzunahmen von 0,2 l, bei gleichbleibender Menge an Testsubstanz, echt anzeigt. Volumenverminderungen der Lösung könnte das Gerät in gleicher Versuchsanordnung nicht anzeigen, da in diesem Fall die Konzentration der Testsubstanz nicht geändert würde. Weiter zeigt der Versuch, daß das Gerät, im Bereiche seiner Genauigkeit, zur Aufrundung der gemessenen Werte tendiert.

IV) Volumenbestimmung an Blutersatzmitteln

Entsprechende, weitere Modellversuche mit Blutersatzmitteln, die von der Firma Braun - Melsungen zur Verfügung gestellt worden waren, wurden durchgeführt:

1. Mit "Plasmagel": Zusatz in 1000 ml: 30,0 g Gelatine
7,0 g NaCl
2,0 g $CaCl_2$ H_2O
0,74 g KCl

	Vorgelegtes Volumen Plasmagel	Meßergebnis (Volemetron)
a) Nach Entnahme eines Leerwertes Injektion der Dosis, 3 Min. schütteln, Entnahme eines Messwertes.	2,5 l	2,5 l
b) Eichung einer zweiten Dosis aus der gleichen Verpackungsserie mit Besteck von Versuch a)	2,5 l	2,4 l
c) Nach vorheriger Entnahme eines neuen Premix Sample Injektion der geeichten Dosis.	2,5 l	2,7 l

2. Mit "Onkovertin": Zusatz in 1000 ml: 30,0 g Dextran
7,0 g NaCl
25,0 g Laevulose
20,0 g Dextrose
0,75 g KCl

	Vorgelegtes Volumen Onkovertin	Meßergebnis (Volemetron)
a) Nach Entnahme eines Leerwertes Injektion der Dosis	2,0 l	2,2 l

	Vorgelegtes Volumen Onkovertin	Meßergebnis (Volemetron)
b) Eichung einer zweiten Testdosis der gleichen Verpackungsserie mit Besteck von Versuch a)	2,0 l	2,2 l
c) Leerwert von Versuch a). Testdosis von Versuch b), 3 Min. schütteln nach Zufüllung von 500 ml Onkovertin und Entnahme eines neuen Messwertes.	2,5 l	2,6 l
d) Nach Entnahme eines neuen Leerwertes Injektion der Testsubstanz von Versuch b) 3 Min. schütteln, Entnahme eines neuen Messwertes.	2,5 l	2,65 l

Die Ergebnisse dieser Versuche liegen im selben Genauigkeitsbereich, wie die beschriebenen. Daraus folgt, daß die Volumina von dem Gerät ohne Rücksicht auf die Art der Flüssigkeit richtig gemessen werden.

Untersuchung über die Genauigkeit der Blutvolumenbestimmung mit J^{131} in Abhängigkeit von der Durchmischungszeit.

J^{131} Humanserum als Tracersubstanz:
Im Handel ist es erhältlich von N.V. Duphar, Amsterdam als

"RISA" ebenso von der Firma Hoechst. Zu den beschriebenen Untersuchungen wurde Albumin der Firma Hoechst verwendet, da es erstens etwas preisgünstiger ist, zweitens die Zustellung nicht durch zeitraubende Zollformalitäten aufgehalten wird, welche die Firma Omni Ray bei der Vermittlung von RISA dem Kunden überlässt.

Die Strahlendosis von 3 Mikro-Curie, welche den Patienten pro Untersuchung im Durchschnitt belastet, entspricht nicht ganz dem zehnten Teil der Belastung durch einen Radiojod-Test, oder dem zwanzigsten Teil der Strahlenbelastung durch eine Thoraxaufnahme. J^{131} ist ein Beta- und Gammastrahler mit einer Halbwertszeit von 8 Tagen.

Zur Erläuterung des Verhaltens von J^{131} Albumin als Tracer ein Auszug aus einer Tabelle von VETTER und VEAL, "Radioisotopentechnik" (47):

Untersuchungen an einer Normalperson, Gewicht 66 kg; Plasmaalbuminkonzentration 3,6 g/100 ml; P.V. 2 940 ml

Zeit	% der verabreichten Spurensubst. im Plasma:	Tägliche Urinaussch. % der verabreichten Spurensubst.	% der verabr. Spurensubst. die im Körper zurückgehalten wird.
15'	98,0	-	-
2 I/2 h	93,0	6,83	-
1. Tag	55,0	5,21	93,2
2. Tag	39,1	3,52	88,0
3. Tag	36,3	3,78	84,4
4. Tag	33,2	2,41	80,7
5. Tag	29,8	2,88	78,3
6. Tag	29,2	2,55	75,4
7. Tag	-	-	73,1

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, bleibt die Konzentration des markierten Albumins im Plasma während der ersten 15 Min. konstant.

Entsprechende Ergebnisse erzielte KRIEGER u.Mitarb. (29), der die Plasma-Jod-Aktivität während der ersten 25 Min. nach der Injektion unverändert fand. LAJTHA (30) fand einen Verlust von 10 % der Testdosis während der ersten Stunde und empfiehlt deshalb einen Korrekturfaktor von 1,015 für den 10 Minutenwert, welcher sich aber nicht allgemein durchsetzte.

Eigene Untersuchungen mit dem Volemetron, für welche sich Gelegenheit während der extracorporalen Dialyse (Protokoll siehe im Kapitel "Blutvolumenbestimmung während der Dialyse") bot, zeigte folgendes Ergebnis:

Patient: A.M.
Diagnose: Nierenschocksyndrom nach Transfusion.

a)	Durchmischungszeit	Ergebnis in l
	10'	6,2
	15'	6,2
	20'	6,2
	25'	6,2

Diese Serie zeigt, daß sich unter den Bedingungen der Dialyse, in 25' die Plasma-Jod-Konzentration nicht ändert.

Patient: W.R.
Diagnose: Anurie nach Operation nach Wertheim.

Durchmischungszeit	Ergebnis in l
12'	5,2
22'	4,6
32'	5,1
47'	5,0
62'	5,3
77'	5,4
92'	5,4
182'	5,9
237'	5,9

In dieser Reihe zeigt sich nach anfänglichen Schwankungen, welche zum Teil durch Volumenänderungen an der Dialyse (dort beschrieben) bedingt sein können, einen kontinuierlichen Anstieg in einem Zeitraum von 4 Stunden, als Folge der Verminderung der Plasma-Jod-Konzentration, durch Auswanderung von markiertem Albumin aus dem intravasalen Raum.

Stoffwechsel des J^{131} Albumins:

BERSON (6) fand in seinen Untersuchungen, daß in einer Zeit von 4 bis 7 Tagen ein Verteilungsgleichgewicht im ganzen Organismus hergestellt ist. Das Verhalten des markierten Albumins im Stoffwechsel entspricht dem des Nativalbumins. Seine Konzentration fällt exponentiell mit einer biologischen Halbwertszeit von 55 bis 56 Tagen; und zwar wird die Halbwertszeit um so kürzer, je stärker die Markierung ist. Fraglich ist in diesem Punkt, ob die Struktur des Albumins durch die Strahlenbelastung und Lagerung, oder die zur Markierung notwendigen Manipulationen, geschädigt ist (6, 29). Das vom Albumin isolierte Jod^{131} geht als Jodid zwei verschiedene Wege (47): 1. zur Ausscheidung durch die Niere, 2. zur Thyreoidea, was eine Blockierung derselben empfehlenswert erscheinen lässt. (In den eigenen Untersuchungen wurde die Thyreoidea mit Natriumjodid blockiert).

BLUTVOLUMEN BEI GESUNDEN

Der vorläufige Normalwert stellt sich zusammen aus 32 Untersuchungen an Gesunden im Alter zwischen 22 und 68 Jahren. Das Mittel ergibt ein Gesamtblutvolumen (TBV) von 5,04 l. Daraus wird mit dem in der Hawksley Zentrifuge hergestellten Mikrohämatokrit, korrigiert nach CHAPLIN (13) das rote Zellvolumen (RZV) und das Plasmavolumen (PV) errechnet. In Beziehung zum mittleren Körpergewicht von 67,5 kg gebracht, ergibt sich das "relative TBV, RZV und PV in ml/kg Körpergewicht:

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
$\bar{x}$ TBV	5,04	74,5
$\bar{x}$ RZV	2,18	32,3
$\bar{x}$ PV	2,86	42,2

Statistik für TBV : s = 9 (n = 32)

Nach Untersuchungen von MOENS u.Mitarb. (34) wie auch aus den eigenen Ergebnissen ersichtlich, liegt der Normalwert des Blutvolumens für Männer beträchtlich über dem für Frauen, so dass es empfehlenswert erscheint die Normalwerte der vorliegenden Methode für Männer und Frauen getrennt anzugeben:

Gebrauchte Abkürzungen:

a) Statistik:

$\bar{x}$ = Arithmetisches Mittel
n = Anzahl der Untersuchungen
s = Mittlere Abweichung vom Mittelwert
t = Signifikanz der Unterschiede zweier Meßreihen

b) Bezeichnung der verschiedenen Volumina:

TBV = Gesamtblutvolumen
RZV = Rotes Zellvolumen
PV = Plasmavolumen
Hk = Hämatokrit

NORMALWERTE

a) Männer:

82,2 ml/kg

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
$\bar{x}$ TBV	5,9	82,2
$\bar{x}$ RZV	2,68	37,4
$\bar{x}$ PV	3,22	44,8

Statistik für TBV : s = 6,8 (n = 21)

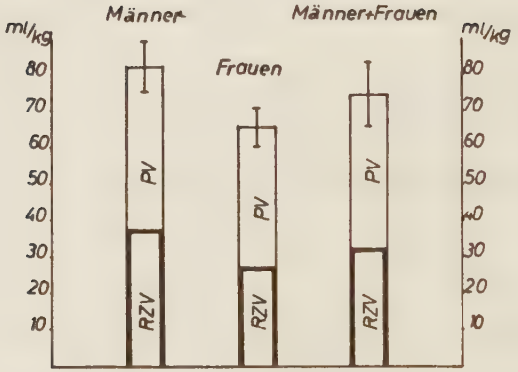
b) Frauen:

66,6 ml/kg

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
$\bar{x}$ TBV	4,18	66,6
$\bar{x}$ RZV	1,69	27,1
$\bar{x}$ PV	2,49	39,5

Statistik für TBV : s = 5,6 (n = 11)
t = 6,9 (Männer : Frauen)

Diagr. 1. **Normalfälle**



		Männer	Frauen	Männer+Frauen
n:		21	11	32
Gew.kg:	x̄	71,7	63	67,5
TBV/kg:	x̄	82,2	66,6	74,4
S:		6,8	5,6	9
RZV/kg:	x̄	37,4	27,1	32,3
PV/kg:	x̄	44,8	39,5	42,2

Es wurde versucht, eine bessere Relation als das "Istgewicht" für das Blutvolumen zu finden. Weder das "Sollgewicht" (aus der Tabelle, aufgestellt nach einer Formel aus "Society of Actuaries, Build and Blood Pressure Study, Bd. 1 (42) Chicago 1959)", noch die Körpergrösse, noch die Oberfläche führten zu einem besseren Ergebnis. So wird die allgemein übliche Relation zum "Istgewicht" als nächstliegende, wenn auch nicht zufriedenstellende, beibehalten.

WENNESLAND u.Mitarb. (49) versuchten zu zeigen, dass die Regression auf Grösse und Gewicht die Schwankung etwas verringert. Vielfältige Regressionen auf Fett- und Bindegewebe verbessern die Schwankungsbreite nicht wesentlich (24). Ellen BROWN u.Mitarb. (11) zeigen anhand einer grossen Übersicht, dass trotz aller Bestrebungen, die Beziehung auf das tatsächliche Gewicht die beste Möglichkeit ist, ein Blutvolumen zu schätzen oder vorherzusagen. Dass dies jedoch nur im Bereich des Normgewichts zutrifft, versucht Tabelle 3 und 4 zu zeigen.
Vergleich von Normalwerten aus der Literatur mit den eigenen:

Tabelle 1

	TBV ml/kg	RZV ml/kg	PV ml/kg	Methode
1939 BOCK, H.E. (7) (M. u. F.)+)	67,5	25,0	42,5	Evans Blue
1950 STEINBECK (7) (M.)	85,7	36,7	49,0	Evans Blue
1956 HICKS u.Mitarb.(23) (M. u. F.)	74,0	-	-	J^{131}
1959 WENNESLAND (49) (M.)	62,3	28,2	34,1	Cr^{51}
1960 EDWARDS (17) (M. u. F.)	67,3	26,9	40,4	Evans Blue
1962 MOENS (34) (M.)	77,8	29,8	48,0	J^{131}
Eig. Erg.(M. u. F.)	74,4	32,3	42,2	J^{131}
Volemetron (M.)	82,2	37,4	44,8	J^{131}
(F.)	66,6	27,1	39,5	J^{131}

+) (M.u.F.) = Männer und Frauen

Zusammenfassend lässt sich zeigen, dass das mit J^{131} (Volemetron) bestimmte Blutvolumen bei Männern mit 82,2 ml/kg Körpergewicht eindeutig über dem bei Frauen mit 66,6 ml/kg Körpergewicht liegt. Bestimmt man einen mittleren Wert aus den Ergebnissen von Männern und Frauen, wie dies vielfach geschehen ist, so ergibt sich ein Mittelwert von 74,4 ml/kg Körpergewicht in Übereinstimmung mit den Werten aus der Literatur.

Unseren Ergebnissen zufolge (statistische Signifikanz des Unterschiedes t = 6,9) ist aber eine Trennung unbedingt notwendig.

Blutvolumen bei Gesunden

Männer:

Nr.	Name	Vorn.	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Hb g%	Ery Mill.	Ery Ø µ	Hk vol.%
1	L.	W.	22	188	93,5	82	14,7	4,7		46
2	S.	H.	33	170	86,9	71,1	15	4,5	7,4	38
3	M.	A.	48	167	83,8	70,3	13,7	4,6	7,6	38
4	A.	A.	23	181	76,9	73,6				48
5	T.	O.	22	176	75,5	69,9				45
6	M.	F.	51	174	73,7	76,2	15,7	4,7	7,2	45
7	B.	W.	20	181	73,6	73,6				46
8	S.	N.	37	173	63	70,4	15,3	5,7	7,2	46
9	L.	R.	22	178	64,5	69,2				45
10	L.	H.	23	175	79,4	69,2				48
11	Sch.	W.	64	172	81,5	73,4	16,4	4,9	7,4	51
12	L.	A.	26	168	69,5					
13	H.	P.	22	178	68,8	71,4				46
14	Sch.	L.	62	176	70,5	77,8	16,9	4,3	7,4	46
15	Z.	M.	38	173	66,8	73,2	15,7	5,2	7,5	43
16	K.	Ch.	22	173	61,7	67,8				48
17	B.	L.		168	65,9					
18	H.	F.	58	171	60,4	74,1	16,2	4,9	7,1	47
19	R.	F.	48	167	75	70,3	14,8	5,4	7,5	44
20	S.	M.	22	173	57,2	67,8	15,2	4,2	7,3	44
21	Sch.	R.	30	168	57,3	67,3	16,2	4,9	7,2	48

Fortsetzung von Tabelle 2

				bez. auf Körpergewicht in ml/kg					
DMZ Min.	TBV l	RZV l	PV l	TBV Ist	TBV Soll	RZV Ist	RZV Soll	PV Ist	PV Soll
11	8,6	3,77	4,73	92	105	41,3	47,3	50,7	57,7
10	7,1	2,7	4,4	81,9	100	31,1	38	50,8	62
10	6,6	2,44	4,16	78,8	94	29,2	44,7	49,6	40,8
11	6,5	3,12	3,38	84,4	88,2	40,5	42,4	44,0	45,9
10	6,48	2,95	3,53	85,9	92,8	39,1	42,3	46,8	50,5
10	6,24	2,81	3,43	84,6	81,8	38,1	36,8	46,5	45,0
11	6,18	2,84	3,43	84,0	84,0	38,6	38,6	45,4	45,4
12	6,0	2,76	3,24	95,2	85,4	43,8	39,3	51,4	46,1
10	5,9	2,68	3,21	91,3	85,2	41,6	38,8	49,7	46,4
10	5,84	2,8	3,04	73,6	84,3	35,3	40,5	38,3	44,8
11	5,8	2,96	2,84	71,2	79,2	36,4	40,4	34,8	38,8
	5,62	1,97	3,65	80,8		28,3		52,5	
10	5,62	2,58	3,04	81,6	78,9	37,5	36,2	44,1	42,7
9	5,6	2,58	3,02	79,5	72,0	36,6	32,2	42,9	38,8
10	5,4	2,3	3,1	80,8	73,8	34,4	31,4	46,4	42,4
10	5,38	2,61	2,77	87,2	79,3	42,3	38,5	44,9	40,8
11	5,32	2,34	298	80,8		35,5		45,5	
10	5,3	2,49	2,81	87,8	71,5	41,2	33,6	46,6	37,9
12	4,9	2,16	2,74	65,4	69,7	28,8	30,7	36,6	39,0
12	4,6	2,02	2,58	80,5	67,9	35,4	29,8	45,1	38,1
10	4,55	2,12	2,34	79,5	67,6	38,6	32,8	40,9	34,8

Tabelle 2

Blutvolumen bei Gesunden

Frauen:

Nr.	Name	Vorn.	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Hb g%	Ery Mill.	Ery Ø µ	Hk vol.%
1	C.	N.	23		68,8	70,0	12,6	4,6		40
2	T.	N.	32		66,3	64,7	13,6	4,3		41
3	P.	M.	62	164	62,0	67,3	13,6	3,97	7,8	39
4	H.	A.	61	163	72,0	67,9	15,8	4,38	7,4	40
5	B.	A.	59	167	72,5	71,1	13,3	4,6		40
6	D.	H.	22	160	61,0	53,0				44
7	D.	A.	43		61,8	59,5	15,6	4,59		44
8	F.	H.	24		51,3	58,4		4,5	7,5	42
9	N.	L.	42		58	58,5	14,8	4,4		42
10	B.	B.	61	161	57,5	66,5	13,7	4,1	7,4	35
11	L.	B.	48	159	62,4	65,2	15,5	4,34	7,2	41

Fortsetzung von Tabelle 2

DMZ Min.	TBV l	RZV l	PV l	bez. auf Körpergewicht in ml/kg TBV Ist	TBV Soll	RZV Ist	RZV Soll	PV Ist	PV Soll
10	5,00	2,00	3,00	73,0	71,5	29,1	28,6	43,9	42,9
10	4,70	1,92	2,78	72,6	72,6	29,5	29,8	41,5	42,8
10	4,6	1,79	2,81	74,2	68,3	28,9	26,5	45,3	41,8
10	4,5	1,8	2,7	62,5	66,4	25	26,5	37,5	39,9
10	4,4	1,76	2,64	60,7	61,9	24,3	24,7	36,4	37,2
10	4,18	1,84	2,34	68,6	79,0	30,2	34,8	38,4	44,2
10	3,91	1,72	2,19	63,6	66,7	27,8	28,9	35,8	37,8
	3,85	1,62	2,23	75	66	31,6	27,7	43,4	38,3
	3,72	1,56	2,16	64,2	63,7	26,9	26,7	37,3	37,0
	3,7	1,29	2,41	64,4	55,7	22,5	19,5	41,9	36,2
	3,4	1,39	2,01	54,7	52,2	22,4	21,4	32,3	30,8

Tabelle 3 Wiederholungsbestimmungen:

(Anhang zu Blutvolumen bei Gesunden)

Nr.	Name	Vorn.	Alter	Diagnose	1. Bestimmung Gew. kg	Hb g%	Hk vol.%	DMZ Min.	TBV ml	rel. TBV ml/kg
1	H.	E.	61	abgekl.Hepatitis	44,2	10,1	34	11	3800	86,0
2	Sch.	Ch.	60	Osteoporose	42,2	11	44	12	3500	83,0
3	H.	A.	65	Bronchiektasie	68	14	41	12	6600	97,0
4	H.	K.	38	Ulcus duodeni	76,2		44	10	6800	89,3
5	N.	F.	65	fragl.Bronchiek-tasie	62,6	12,6	41,5	12	5600	89,5
					2. Bestimmung					
				Intervall Tage						
				19	45,4	10,6	33	14	3700	81,5
				17	44,8	10,8	40	12	3500	78,1
				14	69,2	14,0	42	11	6500	94,0
				14	76,8	17,1	44,5	10	6900	90,0
				13	62,9		38	12	5900	93,9

Zu Tabelle 3

Die Wiederholungsbestimmungen wurden durchgeführt, um die Volumenschwankung über grössere Intervalle zu prüfen. Untersuchung Nr. 1 - 4 zeigt ein sehr konstantes Volumen. Nr. 5 liegt noch innerhalb des Genauigkeitsbereichs der Methode.

DEITRICK u.Mitarb. (14) beschreiben eine Änderung des TBV mit Änderung der Körperlichen Aktivität. Sie geben eine TBV-Abnahme von 5 - 6 % nach 14 Tagen Bettruhe an. TAYLOR u.Mitarb. (45) nahmen sogar noch höhere Werte an. Die hier erzielten Ergebnisse sagen dahingehend nichts aus.

BLUTVOLUMEN BEI KRANKEN

a) Blutvolumen bei Übergewicht bzw. Untergewicht.

Die Tabellen 4 und 5 wie auch Diagramm 2 zeigen, dass ein Normalwert, der auf das Körpergewicht bezogen ist, seine Bedeutung verliert, sobald das tatsächliche Gewicht eines Patienten wesentlich von seinem Soll abweicht. So ist bei adipösen Patienten von einem mittleren Gewicht der Männer von 99,8 kg, der Frauen von 92,9 kg, bei einem absoluten Volumen das noch im Normbereich liegt, die relative Blutmenge stark herabgesetzt.

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
Männer:		
$\bar{x}$ TBV	6,42	65,6
$\bar{x}$ RZV	3,34	33,8
$\bar{x}$ PV	3,08	31,8

Statistik für TBV: s = 7 (n = 5)
t = 4,8 (Normalgewicht:Übergewicht)

Frauen:		
$\bar{x}$ TBV	4,5	48,8
$\bar{x}$ RZV	1,92	20,6
$\bar{x}$ PV	2,58	28,2

Statistik für TBV: s = 6 (n = 5)
t =5,6 (Normalgewicht:Übergewicht)

Im Gegensatz dazu liegt bei untergewichtigen Personen mit einem mittleren Gewicht der Männer von 55,7 kg, der Frauen von 43,1 kg, der Durchschnitt der relativen Blutmenge über dem Normalwert, bei einem stark verminderten Absolut-Volumen.

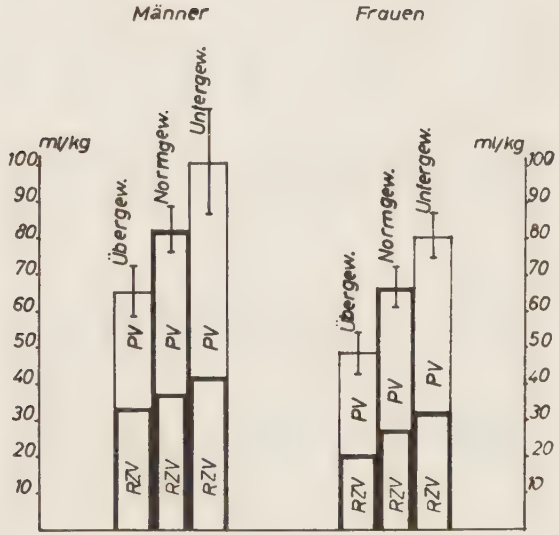
	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
Männer:		
$\bar{x}$ TBV	5,6	101,7
$\bar{x}$ RZV	2,3	42
$\bar{x}$ PV	3,3	59,7

Statistik für TBV: s = 15 (n = 4)
t = 2,69 (Normalgewicht:Untergewicht)

Frauen:		
$\bar{x}$ TBV	3,5	80,7
$\bar{x}$ RZV	1,36	32,3
$\bar{x}$ PV	2,14	48,4

Statistik für TBV: s = 6,5 (n = 5)
t = 4,2 (Normalgewicht:Untergewicht)

Diagr. 2: **Übergewicht:Normgewicht: Untergewicht**



		Männer			Frauen		
n :		5	21	4	5	11	5
Gew. kg:	x̄	99,8	71,7	55,7	92,9	63	43,1
TBV/kg	: x̄	65,6	82,2	101,7	48,8	66,6	80,7
s :		7	6,8	15	6	5,6	6,5
RZV/kg	: x̄	33,8	37,4	42	20,6	27,1	32,3
PV/kg	: x̄	31,8	44,8	59,7	28,2	39,5	48,4

Tabelle 4

Blutvolumen bei Adipositas

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Zeit	Hb g%	HbE	Ery Mill.	EryØ /u	Hk vol.%
1	B.	A.	Adipositas	23	183	104,8	75,4	6.30	14,4	26	5,5	7,3	43
2	F.	K.	Adipositas	59	162	113,6	62,7	10.00	15,8	38	4,1	7,2	65
3	S.	R.	Adipositas	28	172	120,0	69,8	9.30	15,5	28	5,4	7,4	48
4	H.	E.	Adipositas, Rechtsinsuff.	40	156	81,4	62,4	10.15	18,7		6,3	7,3	55
5	L.	H.	Adipositas	23	175	79,4	69,2	9.00					48
6	L.	R.	Adipositas	40	168	107,0	66,9	8.00	14,8		4,1	7,2	42
7	L.	P.	Adipositas	42	165	118,2	63,8	9.30	14,0	32	4,6	7,2	43
8	V.	A.	Adipositas	30	159	92,2	57,4	10.00	15,8	31	4,9		48
9	M.	W.	Adipositas	28	160	77,5	55,2	9.15	12,5		4,2		43
10	Sch.	I.	Adipositas	22	159	69,4		8.35	15,8		4,5	7,3	37

Fortsetzung von Tabelle 4

DMZ Min.	TBV l	RZV l	PV l	bez. auf Körpergewicht TBV Ist ml/kg	TBV Soll ml/kg	RZV Ist ml/kg	RZV Soll ml/kg	PV Ist ml/kg	PV Soll ml/kg
12	7,05	3,03	4,02	67,4	93,6	28,9	38,5	40,2	53,4
12	6,75	4,37	2,38	59,5	107,6	38,5	69,7	21,0	37,9
10	6,45	3,1	3,36	53,7	92,5	25,85	44,5	27,85	48,0
10	6,0	3,3	2,7	73,7	95,7	40,5	52,6	33,2	43,1
10	5,84	2,8	3,04	73,6	84,3	35,3	40,5	38,3	44,8
12	5,8	2,44	3,36	54,2	86,7	22,8	36,5	31,4	50,2
10	5,5	2,36	3,14	46,4	86,0	19,9	37,0	26,5	49,0
10	4,6	2,21	3,39	50,0	80,2	34,0	38,5	26,0	41,7
10	3,09	1,28	1,81	39,9	55,9	16,5	23,1	23,4	32,8
10	3,7	1,37	2,33	53,4	69,8	19,8	25,8	33,7	44,0

Tabelle 5

Blutvolumen bei Untergewicht

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Zeit	Hb g%	HbE	Ery Mill.	EryØ µ	Hk Vol.%
1	Sch.	J.	Ulcus ventriculi	52	171	59,3	74,1	6.45	14,2	28	5,1		45
2	G.	H.	Verdacht auf lat.Tetanie	28	177	61,5	81,3	7.10	16,4	33	4,9		45
3	K.	E.	Vegetative Dysregulation	49	175	56,3	76,9	10.05	15,3	36	4,4	7,2	37
4	G.	D.	Vegetative Dysregulation	26	173	46,4	70,5	9.00	11,5		3,05		37
5	L.	E.	Anorexie		169	47,5		11.00	16,0		5,05	7,2	46
6	H.	E.	Zustand nach Hepatitis	61	160	45,4	64,7	10.00	10,6	28	3,8		33
7	H.	I.	Vegetative Dysregulation	31	170	43,2	64,2	9.00	14,3	31	4,6	7,0	36
8	T..	M.	Simmond'sche Kachexie	20	160	33,8	51,7	9.00	16,0	39	4,3	7,3	46
9	T.	G.	Vegetative Dysregulation	30	153	42,5	55,8	9.45	14		4,0	7,2	34

Fortsetzung zu Tabelle 5

DMZ	TBV	RZV	PV	bez. auf Körpergewicht TBV		RZV		PV	
Min.	l	l	l	Ist ml/kg	Soll ml/kg	Ist ml/kg	Soll ml/kg	Ist ml/kg	Soll ml/kg
11	7,2	3,2	4,0	121,5	97,2	54,0	43,2	67,5	54
12	6,5	2,92	3,58	105,7	80,0	47,5	36,0	58,2	44
13	5,5	2,04	3,46	97,7	71,5	36,2	26,5	61,5	45
12	3,8	1,4	2,4	82,0	54,0	30,3	20,0	51,7	34
10	3,79	1,93	1,85	79,6		40,6		39,0	
14	3,7	1,22	2,48	81,5	57,3	26,9	18,9	54,6	38,4
12	3,55	1,28	2,27	82,2	55,3	29,6	19,9	52,6	35,4
10	3,05	1,4	1,65	90,5	59,0	41,2	27,1	48,8	31,9
12	2,95	1,0	1,95	69,5	52,9	23,6	17,9	45,9	34,95

In der Literatur finden sich Erklärungsversuche für dieses Phänomen:

HUFF und FELLER (24) kamen in genauen Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass der Blutgehalt des Fettgewebes um ein Drittel geringer als der des lockeren Bindegewebes und der Muskulatur sei. WENNESLAND u.Mitarb. (49) glaubten, im Zuge ihrer Regressionsbemühungen, konstitutionsbedingte Unterschiede zu sehen und versuchten das Gesamtblutvolumen in Proportionalität zur Muskelmasse zu setzen. Andererseits fand BUSKIRK (12) keinen Unterschied im Blutvolumen, bezogen auf Gesamtkörpergewicht, reduziertes Körpergewicht und fettfreies Gewicht, bei einem Vergleich von untrainierten, mässig trainierten und konditionstrainierten Personen. BASS u.Mitarb. (4), die sich um dasselbe Problem bemühten, konnten keine signifikanten Veränderungen an TBV, RZV und PV nach 3 Wochen Training feststellen. KJELLBERG u.Mitarb. (27) dagegenfanden grosse Volumenunterschiede bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen. Diese Ergebnisse werden jedoch in der Literatur (49) kritisiert, da bei der angewendeten Co-Methode während der Messung 15 % der Testdosis des Gases die Blutbahn verlassen und sich hauptsächlich an Muskelpigment anlagern (37).

b) Blutvolumen bei Herzinsuffizienz

Die Untersuchungen der Tabelle 6 wurden durchgeführt an Patienten, die sich im Stadium der Dekompensation, teilweise auch schon im Zuge der Rekompensation befanden. Bei einem absoluten Volumen, das bei diesen Untersuchungen durchaus im Normalbereich liegt, entspricht der Mittelwert von 6,1 bzw. 5,3 l, ein deutlich erhöhtes, relatives Gesamtblutvolumen.

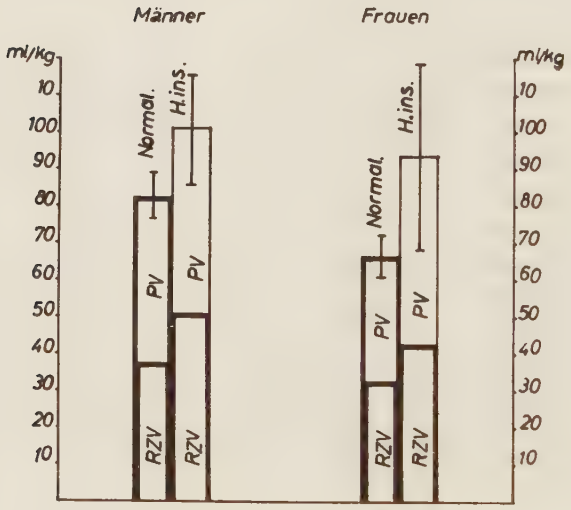
	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
Männer:		
$\bar{x}$ TBV	6,1	101,0
$\bar{x}$ RZV	3,06	50,8
$\bar{x}$ PV	3,04	50,2

Statistik für TBV: s = 15,2 (n = 9)
t = 3,55

Frauen:		
$\bar{x}$ TBV	5,3	93,5
$\bar{x}$ RZV	2,65	42,9
$\bar{x}$ PV	2,65	50,6

Statistik für TBV: s = 25,3 (n = 10)
t = 3,28

Diagr.4 Normalfälle:
Dekomp. Herzinsuffizienz



	Männer		Frauen	
n :	21	9	11	10
Gew kg: x̄	71,7	61,9	63	56,9
TBV/kg : x̄	82,2	101	66,6	93,5
s :	6,8	15,2	5,6	25,3
RZV/kg : x̄	37,4	50,8	27,1	42,9
PV/kg : x̄	44,8	50,2	39,5	50,6

Tabelle 6

Blutvolumen bei Herzinsuffizienz

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Zeit	Hb g%	HbE	Ery Mill.	Ery Ø u	Hk vol.%
1	J.	F.	Cor pulmonale	61	191	90,0	90,3	9.30	13,3	30	4,1		55,5
2	H.	G.	dekomp.Mitralvitium, relative Tricuspidalinsuff.	50	178	53,5	79,6	10.00	16,2	32	4,65		55,0
3	Sch.	A.	dekomp.Mitralinsuffizienz	60	170	59,2	72,0	6.15	15,3	31	4,9	8,3	50,0
4	D.	E.	Myodegeneratio cordis	51	172	63,0	74,8	10.15	12,0		4,8	7,6	40,0
5	H.	E.	Cor kyphoscolioticum	40	156	81,4	62,7	10.15	18,7		6,35	7,3	55,0
6	B.	W.	Rechtshypertrophie	44	168	59,0	70,2	6.00					44,0
7	R.	B.	Myodegeneratio cordis	37	162	53,0	65,5	5.50	16,9	31	5,4	7,5	51,0
8	Sch.	A.		60	166	52,2	68,7	10.30	16,2	36	4,75	7,4	57,0
9	G.	K.G.	dek.Mitralstenose	39	164	46,1	56,0	8.15	14,8	24,4	6,1	7,4	44,0
10	H.	E.	dekomp.Aorteninsuffizienz	43	164	59,8	64,3	10.00	20,6	27	7,65	7,5	56,5

Fortsetzung von Tabelle 6

DMZ	TBV	RZV	PV	bez. auf Körpergewicht TBV		RZV		PV	
				Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll
Min.	l	l	l	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg
10	8,09	4,46	3,63	89,8	89,8	49,5	49,5	40,3	40,3
10	6,88	3,78	3,10	128,8	86,5	70,9	47,6	57,6	39,9
10	6,5	3,25	3,25	110,0	90,4	55,0	45,2	55,0	45,2
10	6,05	2,46	3,59	96	81,0	39,1	38,1	57,0	52,9
10	6,0	3,30	2,70	73,7	95,7	40,5	52,6	33,2	43,1
10	5,8	2,55	3,25	98,4	82,6	43,2	36,3	55,2	46,3
13	5,6	2,85	2,75	105,5	85,5	53,7	43,5	51,8	42,0
10	5,55	3,18	2,37	106,3	80,8	61,0	46,3	45,3	34,5
11	4,65	2,04	2,61	100,8	83,0	44,2	36,4	56,6	46,6
10	7,0	3,95	3,05	117,0	108,0	66,0	61,5	51,0	47,5
10	6,93	2,72	4,21	119,5	118,4	46,8	46,5	72,7	72,0
10	6,7	3,48	3,22	139,5	110,0	72,5	57,2	67,0	52,8
14	6,2	2,54	3,68	95,0	86,7	38,5	35,5	56,5	51,4
12	5,6	2,58	3,02	95,5	85,5	44,0	39,4	51,5	46,1
10	4,92	2,23	2,69	89,0	73,6	40,3	33,4	48,7	40,3
10	4,54	2,04	2,50	75,5		34,1		41,7	
10	4,18	1,71	2,46	73,3	68,4	31,0	28,1	43,3	40,4
10	3,48	1,58	1,90	64,3	58,0	29,1	21,2	35,2	31,7

EICHNA und FARBER erklären den großen Streubereich des Hk (18) bei Herzinsuffizienz damit, daß im Zuge einer Rekompensation das Plasmavolumen schneller als das Erythrocytenvolumen in den Bereich der Norm zurückgestellt ist. Allgemein sind sich die Autoren über die Zunahme des Gesamtblutvolumens bei Herzinsuffizienz einig, in der Größenordnung jedoch bestehen große Unterschiede. HEDLUND (22) kam 1953 auf Grund seiner statistisch gesicherten Ergebnisse zu folgenden Werten für das Plasmavolumen: Die Erhöhung des PV im Stadium der Dekompensation beträgt für Männer 28 %, für Frauen 25 % und 8 % bzw. 9,5 % im Stadium der Kompensation. Eine Erklärung findet die reversible Zunahme des Plasmavolumens wohl darin, daß das Interstitium als Überlauf oder Reservoir für das Plasmavolumen angesehen werden kann, das jedoch nur im Extremfall, in Form des Ödems oder der Exsiccose, in Anspruch genommen wird. Bereits 1947 fanden NYLIN und HEDLUND (38) bei Herzinsuffizienz ein RZV, das um 15 % erhöht war, und genau so eine Wiedereinstellung in den Bereich der Norm nach der Rekompensation. Eine Erklärung dafür suchten STEAD und DURHAM (43), als sie anhand von 48 Fällen bei 98 % eine arteriovenöse O_2-Differenz von mehr als 5,2 vol.% nachwiesen, und damit eine deutliche Hypoxämie. Daß O_2-Mangel die Erythropoese stimuliert, konnte von ERSLEV u.Mitarb. im Tierversuch gezeigt und auch durch entsprechende Höhenversuche belegt werden (19, 15). HEDLUND (22) gibt für Herzinsuffizienz sogar eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der O_2-Sättigung des Blutes und der Zahl der roten Zellen im Sternalmark, wie auch der Zahl der Retikulocyten im Blut an. Wie aus den eigenen Untersuchungen gezeigt werden kann, besteht die Möglichkeit, dass das Ergebnis durch das Körpergewicht des Patienten beeinflusst wird. - Bei Kachexie im Sinne einer Erhöhung, bei Adipositas im Sinne einer Verminderung.

c) Blutvolumen bei Polyglobulie

LINKE und MATTHES (33) bezeichnen die Polyglobulie als reaktive Steigerung der Erythropoese, die zu sekundärer Polycythämie führen kann. Sie tritt auf bei Krankheiten, die mit konstanter Herabsetzung der O_2-Spannung einhergehen, so bei Vitien mit Blutmischcyanose, bei alveolärer Hypoventilation oder Störung der Lungenfunktion. Zur Symptomatik der Polyglobulie können Trommelschlegelfinger, nicht aber Leber- und Milztumor gehören. Es besteht eine Tendenz zur Hyperzirkulation, soweit nicht eine Herzinsuffizienz mit Stauung entgegensteht.

Bei einem mittleren Gewicht der Männer von 82,2 kg, der Frauen von 62,8 kg wurden folgende Ergebnisse erzielt:

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
Männer:		
$\bar{x}$ TBV	7,95	97,3
$\bar{x}$ RZV	4,3	52,5
$\bar{x}$ PV	3,65	44,8

Statistik für TBV: s = 22,2 (n = 5)
t = 1,9 (Normalwert: Polyglobulie)

Frauen:		
$\bar{x}$ TBV	6,48	104,4
$\bar{x}$ RZV	3,7	59,5
$\bar{x}$ PV	2,78	44,9

Statistik für TBV: s = 21 (n = 3)
t = 1,7 (Normalwert:Polyglobulie)

Eine statistische Sicherung der Zunahme des Gesamtblutvolumens ist nicht möglich, was mit den Ergebnissen von R.GROSS übereinstimmt (21).

Tabelle 7

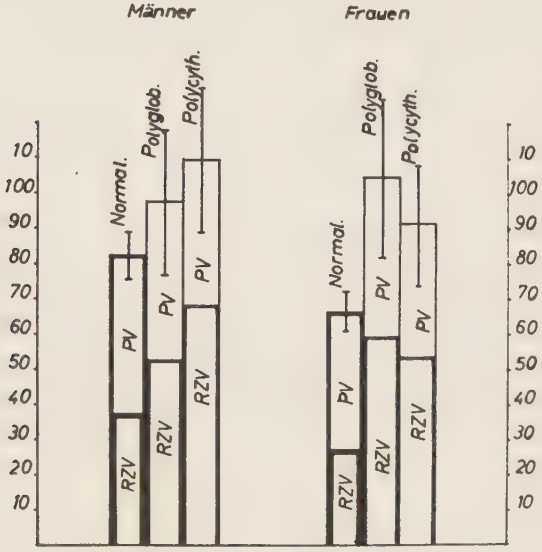
Blutvolumen bei Polyglobulie

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Zeit	Hb g%	HbE	Ery Mill.	EryØ /u	Hk vol.%
1	K.	O.	Polyglobulie	58	178	79,0	79,6	9.00	20,1	32	6,1	7,3	57
2	S.	G.	Polyglobulie	43	172	78,5	74,3	16.05	16,5	31,1	5,3	7,3	48
3	H.	E.R.	Polyglobulie, Adipositas	40	156	89,0	62,7	9.00	19,1		6,35	7,3	66
4	O.	H.	Polyglobulie	43	172	59,5	69,5	9.00	21,6	28,4	7,6		66
5	O.	H.	Polyglobulie	43	172	61,9	69,5	9.15	20,0	28,6	7,0	7,5	66
6	D.	E.	Polyglobulie, Adipositas	39	160	73,7	58,5	6.3o	16,2	26,6	6,1		31
7	K.	I.	Polyglobulie	54	160	52,0	63,5	9.00					75
8	L.	M.	Polyglobulie	66	158	66,4	62,5	10.30	16,5	39	4,29	7,4	53

Fortsetzung von Tabelle 7

DMZ Min.	TBV l	RZV l	PV l	bez. auf Körpergewicht TBV Ist ml/kg	TBV Soll ml/kg	RZV Ist ml/kg	RZV Soll ml/kg	PV Ist ml/kg	PV Soll ml/kg
20	8,25	4,7	3,55	104,5	103,7	59,5	59,0	45,0	44,7
10	8,15	3,91	4,25	103,8	109,5	49,8	52,7	54,0	56,8
10	7,45	7,45	4,92	83,6	118,8	55,2	78,4	28,5	40,4
10	7,82	5,16	2,66	131,4	112,2	86,8	74,0	44,7	38,1
10	7,0	4,76	2,7	109,3	97,1	65,8	58,3	43,5	38,8
10	6,4	1,98	4,42	86,8	109,5	26,8	33,8	60,0	75,7
10	6,1	4,57	1,53	117,2	96,0	87,8	71,9	29,4	24,1
11	5,1	2,7	2,4	77,3	82	40,9	43,4	36,4	38,6

Diagr. 3: Normalfälle : Polyglobulie : Polycythämie



n :		21	3	7	11	5	4
Gew kg :	x	71,7	82,2	73,4	63	62,8	65,9
TBV/kg :	x	82,2	97,3	109,5	66,6	104,4	91,4
s :		6,8	21	20,6	5,6	22,2	17
RZV/kg :	x	37,4	52,5	68,6	27,1	59,5	53,4
PV/kg :	x	44,8	44,8	41,5	39,5	44,9	38,5

d) Blutvolumen bei Polycythämia vera:

Die Ergebnisse zeigen, dass wie auch in der Literatur beschrieben (33), die Vermehrung der Gesamtblutmenge bei Polycythämia vera, der Vermehrung des roten Zellvolumens entspricht, während das Plasmavolumen im Bereich der Norm bleibt.

Bei einem mittleren Gewicht der Männer von 73,4 kg und der Frauen von 65,9 kg, das in beiden Fällen annähernd dem Normgewicht entspricht ergeben sich folgende Werte:

	"absolutes" Blutvolumen in l	"relatives" Blutvolumen in ml/kg
Männer:		
$\bar{x}$ TBV	8,05	109,5
$\bar{x}$ RZV	4,99	68,0
$\bar{x}$ PV	3,06	41,5

Statistik für TBV: s = 20,6 (n = 6)
t = 3,2 (Normalwert:Polycythämia)

Frauen:		
$\bar{x}$ TBV	5,98	91,4
$\bar{x}$ RZV	3,5	53,4
$\bar{x}$ PV	2,48	38,0

Statistik für TBV: s = 17 (n = 4)
t = 2,9(Normalwert:Polycythämia)

MORAVITZ und SIEBECK (35) stellten schon 1908 plethysmographisch fest, was von vielen Autoren bestätigt wird: WAHLUND (48) zeigt in seinen Untersuchungen von 1954 sogar eine Zunahme der Gesamtblutmenge bis zum dreifachen des Normalwertes. LAWRENCE (31) kam bei 32 Polycythämikern, die er untersuchte zu folgendem Ergebnis:

Der Hk lag bei 22 Patienten über 55 vol.%. Das PV war in 22 Fällen vermindert, in 10 Fällen normal, eine Vermehrung lag in keinem Fall vor.

Auf der Suche nach dem Aufenthalt dieser stark vergrösserten Blutmenge kam man zu dem Ergebnis, dass sie sich in den Kreislaufabschnitten befinden muss, die von GAUER und HENRY (26) unter der Bezeichnung "Niederdrucksystem" zusammengefasst werden. (Venöser und kapillärer Kreislaufanteil, zum Teil auch Lungengefässe).

BROWN und SHEARD (10) zeigten, dass bei Polycythämie die Zahl der offenen Hautkapillaren verdreifacht ist. WRIGHT und DURYEE (54) fanden 1933 bei ihren Untersuchungen die subpapillären Plexus, insbesondere die venösen Schenkel der Kapillarschlingen stark erweitert und verändert.

Ob der vergrösserten Milz bei vorliegender Polycythämia vera eine Blutspeicherfunktion zukommt ist fraglich. BERLIN und Mitarb. (5) lehnen es auf Grund ihrer Untersuchungen ab, LINKE (32) spricht ihr eine solche zu, mit der Begründung, dass der vergrösserten Milz bei echter Polycythämia vera in der Blutbildung eine nur sehr untergeordnete Rolle zukomme.

Tabelle 8

Blutvolumen bei Polycythämia vera

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J.	Größe cm	Istgew. kg	Sollgew. kg	Zeit	Hb g%	HbE	Ery Mill.	EryØ µ	Hk Vol.%
1	S.	F.	Polycythämie	59	178	80,5	79,6	7.00	19,8	26	6,3	7,3	69
2	M.	A.	Polycythämie	62	170	63,3	72,0	6.30	17,6	29	9,5	7,2	53
3	F.	G.	Polycythämie	59	172	89,5	74,8	10.10	21,6	34,5	6,3	7,4	60
4	Sch.	G.	Polycythämie	69	170	80,5	72,0	10.50	17,2	30	5,7		44
5	C.	H.	Polycythämie	61	168	66,4	70,2	8.30	21,6	31,1	6,5	7,4	64
6	M.	H.	Polycythämie	74	171	68,8	72,7	10.15	21,6	29,2	7,4	7,0	70
7	Sch.	P.	Polycythämie	50	170	64,8	73,3	9.00	24,0	30	8,0	6,8	73
8	P.	S.	Polycythämie	73	164	60,3	67,3	9.45	20,0		6,5		68
9	B.	A.	Polycythämie	52	164	64,0	66,4	9.45	17,3		5,6	7,4	47,5
10	G.	M.	Polycythämie	52	164	70,4	66,4	9.15	19,4	25,1	7,9		62
11	G.	M.	Polycythämie	61	168	69,0	63,1	8.30	18,0	26	6,9	7,0	59

Fortsetzung von Tabelle 8

DMZ	TBV	RZV	PV	bez. auf Körpergewicht TBV Ist	TBV Soll	RZV Ist	RZV Soll	PV Ist	PV Soll
Min.	l	l	l	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg	ml/kg
12	gr10								
10	9,8	5,2	4,6	154,5	136	82	72,1	72,5	63,9
10	9,7	6,81	2,89	108,5	124,7	76,1	91,1	32,4	38,4
13	8,9	3,92	4,98	110,5	123,6	48,7	54,5	61,8	69,1
10	7,2	4,61	2,59	108,5	102,8	69,5	65,8	39,0	37,0
10	6,81	4,77	2,04	99,2	93,7	69,5	65,6	29,7	28,1
10	6,89	5,03	1,86	106,5	94,0	77,8	68,6	28,7	25,4
10	7,0	4,76	2,24	116,0	104,0	79,0	70,8	37,1	33,2
10	6,03	2,86	3,17	93,3	91,0	44,7	43,2	49,6	47,8
10	5,9	3,66	2,24	83,8	92,4	51,9	57,3	31,9	35,1
12	5,0	2,95	2,02	72,5	79,2	42,8	46,7	29,7	32,5

BLUTVOLUMENVERÄNDERUNGEN BEI BALNEOLOGISCHER BELASTUNG

Die Blutvolumenveränderungen, die in 12 Untersuchungen auftreten, liegen alle innerhalb des Schwankungsbereichs der Methode. Die mittlere Abweichung von 203 ml, bei einem mittleren TBV von 6,3 l entspricht 3,2 %. In fünf Fällen zeigt sich eine Abnahme des TBV um 3 %, in 7 Fällen eine Zunahme um 3,4 % im Durchschnitt. Die Fragestellung bei diesen Belastungsversuchen im Bad war aufs neue auf das Vorhandensein eventueller Blutreserven ausgerichtet, die, je nach Bedarf, in das Kreislaufgeschehen ein-, bzw. ausgeschaltet werden könnten. Wie erwartet, sagen die Ergebnisse diesbezüglich nichts aus.

BARCROFT (3) hatte 1926, auf Grund seiner Tierversuche, eine Blutspeicherfunktion der Milz auch für den Menschen postuliert. 1933 differenzierte REIN (39) zwischen Blutdepots erster Ordnung, bezeichnet damit Blutdepots in denen sich das Blut praktisch ausserhalb der Zirkulation befindet, Blutdepots zweiter Ordnung, in denen das Blut im Nebenschluss zirkuliert und Blutdepots dritter Ordnung, welche sich im Hauptschluss, in erweiterten Gefässen befinden und bei Bedarf durch Kontraktion derselben in andere Kreislaufabschnitte verlagert werden können. So war noch vor zwanzig Jahren die allgemeine Ansicht, dass sich ungefähr 20 % der gesamten Blutmenge in langsamer Zirkulation, fast Stagnation befinde, um bei Bedarf eine rasche Steigerung des HMV und die Erweiterung grosser Gefässgebiete, in der Muskulatur zum Beispiel, zu ermöglichen. WOLLHEIM (52) prägte den Begriff der "aktiven" oder zirkulierenden Blutmenge und versuchte in seinen Untersuchungen eine rasch zirkulierende Blutmenge von einer langsamen - zu trennen.

Heute ist man der Ansicht, dass die Übergänge zwischen langsamer und schneller Zirkulation so fliessend sind, dass sie schon rein methodisch nicht erfasst werden können. Besonders SJÖSTRAND (41) wendet sich gegen die Ansicht, dass beim

Menschen Blutdepots von erheblichem Umfang vorhanden seien. Er unterstützt auch nicht die Annahme einer Ein- bzw. Ausschaltung bestimmter Kreislaufabschnitte, sondern spricht die ganzen volumenregulatorischen Effekte Verteilungsänderungen des sich in der normalen Zirkulation befindlichen Blutvolumens zu. Nach den Untersuchungsergebnissen von KAUFMANN und MÜLLER (26), spielen auch noch Faktoren mit, die bislang wenig beachtet wurden und deren Bedeutung quantitativ noch nicht festliegt: es handelt sich einerseits um rein physikalisch bedingte Austauschvorgänge zwischen interstitiellem - und intravasalem Raum, beeinflusst durch Mechanismen des Wasser- und Elektrolythaushalts, andererseits um volumenregulatorische Reflexvorgänge (GAUER und HENRY 20).

Tabelle 9

Blutvolumenänderungen bei Badebelastung

Nr.	Name	Vorn.	Alter	Hb g%	HbE	Art der Belast.	vor Belastung Gew. kg	Puls /Min.	Temp. °C	RR mm Hg	VD mm H_2O	Hk Vol.%
1	L.	A.	36			15'28° CO_2 Gasb.	69,5					35
2	G.	P.	40	10,8	27	15'35° 3/4 Bad	68,8					32
3	K.	R.	47	15,1	34	15'38° 3/4 Bad	60,5	48		135/75	135	53
4	L.	W.	22	14,8	31	15'38° 3/4 Bad	93,5	60	36,9	110/70	125,5	46
5	B.	L.				15'38° 3/4 Bad	65,9	64	36,6	120/75		44
6	E.	J.	37	10,3	32,5	15'39° Vollbad	69	68	36,5	90/70	30	37
7	M.	P.	59	16,6	39	15'38° 3/4 Bad	94					46
8	H.	F.	58	16,2		15'38° 3/4 Bad	60,4	64	36,9	130/70		47
9	S.	H.	33	15	33	15'39° 3/4 Bad	86,9	76	36,8	125/80	110	38
10	Z.	M.	38	15,7	30	15'39° Vollbad	66,8	76	36,3	120/70	40	43
11	S.	M.	22	15,1	35	15'39° Vollbad	57,2	68	37,1	135/80	85	44
12	Sch.	L.	52	16,9	38	15'39° Vollbad	70,5	84	37,1	160/90	55	51

Fortsetzung von Tabelle 9

DMZ Min.	TBV l	bei Belastung Gew. kg	Puls /Min.	Temp. °C	RR mm Hg	VD mm H_2O	Hk Vol.%	DMZ Min.	TBV l
10	5,62	69,2					49	10	6,34
10	6,35	68,9	92	37,3	125/70		35	10	5,52
10	6,3		72		135/75	100	32	10	5,8
11	8,6	93,4	68	37,2	120/60	165	52	10	6,28
10	5,32			36,6	110/60		46	10	8,4
15	8,7	69,0	64	36,5	95/60		46	10	5,94
14	6,95	70,8	80	37,1	130/70	90	37	15	8,9
12	5,3	60,3	64	36,9	120/60		45	24	7
10	7,1	86,6	88	37,3	100/60		45	10	5,2
10	5,4	66,8	76	37	95/65	160	41	10	7,3
12	6,4	57	88	37,4	125/75	45	42	10	5,6
9	5,5	70,5	80	37	162/84	100	44	12	4,8

BLUTVOLUMENBESTIMMUNG VOR UND NACH EXTRAKORPORALER DIALYSE AM ALWALL'schen DIALYSATOR.

Es ist bekannt, dass bei akutem und chronischem Nierenversagen stets eine Reduktion des Erythrocytenvolumens, bei vermehrtem oder vermindertem Gesamtblutvolumen, vorliegt. (BOCK, 9) (BOCK und WEYAND, 7) (BOCK und THEDERING, 8). Eine Behandlung mit der "künstlichen Niere" kann diese Störungen begünstigen oder bessern. Nach Untersuchungen mit dem Rotationsdialysator und auch mit dem Plattendialysator haben sich zum Teil beträchtliche Schwankungen ergeben, wie sich aus Untersuchungen von KOLFF (28), WOLF et al. (52), ANDREAS et al. (1), NIETH und MÜLLER (36) ergibt. In den eigenen Messungen zeigt sich in den neun aufgeführten Fällen eine signifikante Abnahme des TBV, (die infundierte Flüssigkeitsmenge miteinberechnet), die mit einer Ausnahme ausserhalb der Schwankungsbreite der Methode liegt (+/- 3 %). Ausserdem ist in Tab. 10 in 6 Fällen das TBV Patient und Dialysator gemeinsam angegeben, sowie die vor der Dialyse in das System eingefüllte Flüssigkeitsmenge. Zur Dialyse wurde das System mit 1500 ml Konservenblut und 200 ml physiologischer NaCl-Lösung gefüllt. Zur Aufrechterhaltung des arteriovenösen Durchflusses war eine Sigma-Pumpe eingeschaltet. (Durchflussvolumen in der ersten Stunde 120 - 150 ml/Min., ab der zweiten Stunde maximal 220 ml/Min.).

Auf der Suche nach der Ursache dieser Blutvolumenabnahme liegt es nahe, entsprechend den Ergebnissen von KOLFF, WOLF, ANDREAS, NIETH eine vom Druck abhängige Volumenzunahme des Dialysenschlauches anzunehmen: Beim Rotationsdialysator fand KOLFF eine solche von 170 ml, bei Steigerung des Durchflussvolumens um 100 ml/Min. Bei der "Plattenniere" konnte NIETH eine Volumenschwankung bis

zu 700 ml nachweisen. Ähnliches gilt für den Spulendialysator (SARTORIUS, 40). Dieser Umstand ist jedoch für das Alwall'sche Gerät ohne Bedeutung, da bei der straffen Wicklung des Cellophanschlauches, der von Drahtgitterzylindern komprimiert wird, das Volumen innerhalb des Gerätes vom Druck unabhängig bleibt (ALWALL THÖLEN (2, 46)).

Abb. 6a macht dies deutlich: Es ist das TBV des Patienten vor der Dialyse, das TBV von Patient und Dialyse eine Stunde nach Dialysenbeginn (Füllungsvolumen 1500 ml Blut und 100 ml NaCl), das verminderte Blutvolumen des Patienten und das nahezu gleichbleibende Füllungsvolumen des Gerätes, nach Dialysenende dargestellt.

Ist eine Volumenzunahme innerhalb des Gerätes somit ausgeschlossen, so kann es doch bei unzureichendem Durchflussvolumen zu einer Sedimentation von Erythrocyten im Cellophanschlauch, bei erhaltenem zentralem Plasmastrom, und damit zu einer Abnahme des RZV kommen (16), das durch eine Abnahme des Hk angezeigt wird: siehe Abb. 6b.
Die Ursache der TBV-Abnahme ist eine Folge der mit der Dialyse einhergehenden Ultrafiltration: dargestellt in Abb. 6c.

Diese steigt proportional zum Innendruck des Dialysiersystems und ist damit proportional zur Dialysierfähigkeit (SARTORIUS, 40). Nach Modellversuchen beträgt sie für den Alwall'schen Dialysator 100 - 150 ml/Stunde bei einem Auslaufdruck von 30 - 50 Torr (16). Dies ist bei einer eventuellen Einflussstauung besonders in Betracht zu ziehen.

Zusammenfassend lässt sich zeigen:

1. Auch beim Alwall'schen Dialysator kommen TBV-Änderungen vor.
2. Diese gehen im Gegensatz zu anderen Dialysatoren langsam vor sich.
3. Blutvolumenschwankungen können während der Dialyse mit dem Volemetron schnell und sicher geprüft werden.

Abb. 6a - c nach DÜRR et al. (16)

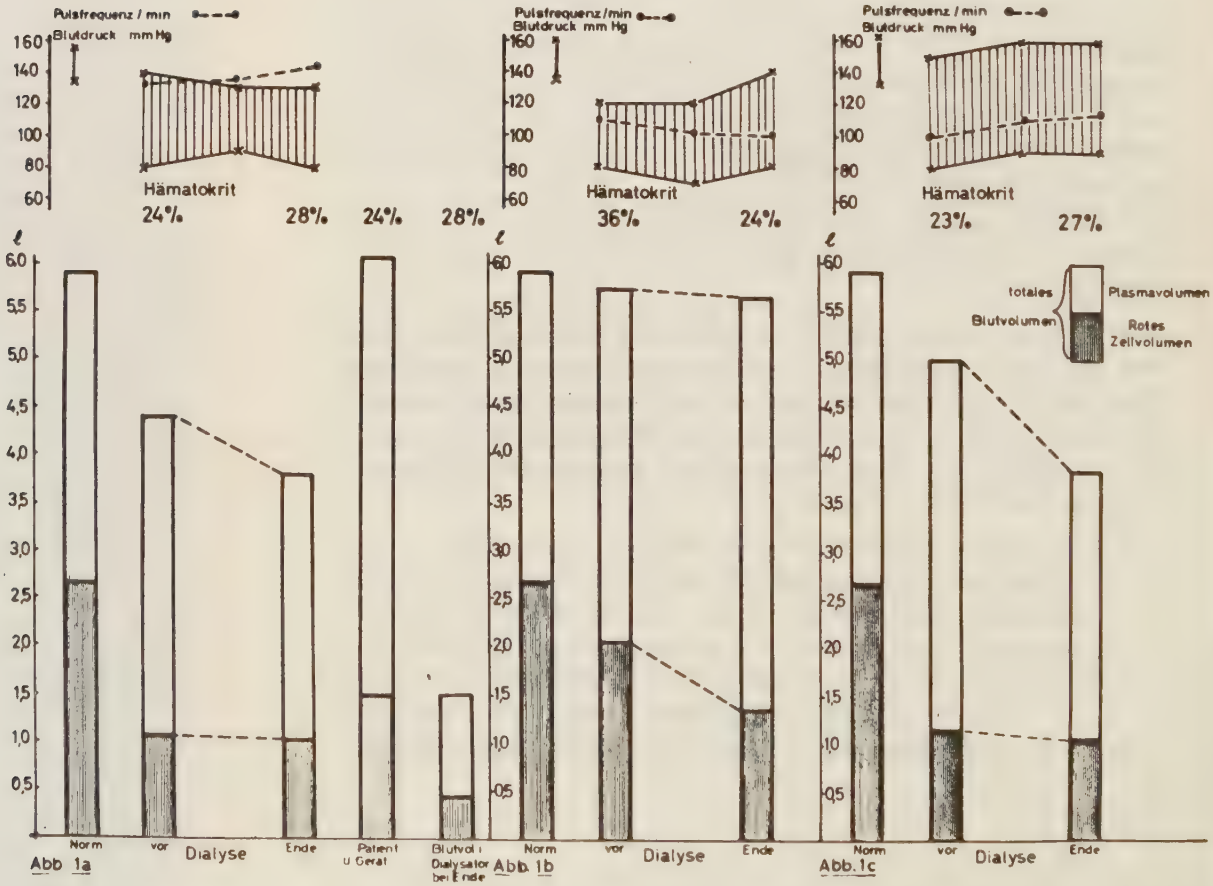


Tabelle 10

Blutvolumenänderungen bei extracorporaler Dialyse.

Nr.	Name	Vorn.	Diagnose	Alter J	vor Dialyse Hk vol.%	DMZ Min.	TBV ml	Infund. ml	nach Dialyse Hk vol.%	DMZ Min.	TBV ml
1	B.	E.	Chron.Nephritis	63	23,6	10	6600	350	22,8	10	6600
2	P.	W.	Hydronephrose	46	22	13	4350	200	27	14	4000
3	P.	W.	Hydronephrose	46	15,5	15	4500	300	22	14	4000
4	J.	E.	Anurie n.H_2SO_4-Intoxikation	32	37	10	5900		38	10	4500
5	W.	W.	Nierenschocksyndrom		19	10	6550		19	10	5100
6	D.	H.	Anurie n. Abortus	31	24	10	4400		27,3	10	3800
7	A.	M.	Nierenschocksyndrom	39	23	16	5000		27	12	3850
8	A.	M.	Nierenschocksyndrom (n.hämolyt. Transfusionszwischenfall)	39	27	12	5100	250	28	12	4800
9	G.	M.	Nierenschocksyndrom	57	36	10	5720	500	24	10	5620
10	W.	R.	Anurie n.Uterusexstirpation					500	33,5	11	3600

Fortsetzung von Tabelle 10

während Dialyse			
Hk vol.%	DMZ Min.	TBV ml	im Gerät zu Beg. ml
26	15	8600	1700
23	30	6200	1700
18	30	5900	1700
-	-	-	-
-	-	-	-
24,6	18	6050	1600
-	-	-	-
27	30	7100	1800
-	-	-	-
32	18	5400	1800

Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Arbeit stammen aus einem Material von insgesamt 150 Untersuchungen:

Aufgabe der Arbeit war es:

a) das neu in die Klinik eingeführte Gerät anhand von Modellversuchen auf seine Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu prüfen,

b) den vorläufigen Normalwert für Stoffwechsel und Kreislaufgesunde festzulegen,

c) erste Ergebnisse an Kranken mit verändertem zirkulierendem Blutvolumen zu ermitteln,

d) einen Beitrag zur Frage der Blutvolumenregulation unter balneologischer Belastung zu liefern,

e) der Versuch eine Blutvolumenänderung während der extracorporalen Dialyse nachzuweisen.

Methodik:

Die Untersuchungen wurden mit dem "Volemetron", einem halbautomatischen Gerät durchgeführt. Als Tracersubstanz wurde mit J^{131} markiertes Humanalbumin verwendet.

Ergebnisse:

a) Der grösste Fehler liegt bei Testmessungen an definierten Volumina von Wasser und Blutersatzmitteln bei +/- 3 %.

b) Der Normalwert aus 32 Messungen liegt bei 5,04 l; daraus ergibt sich, bezogen auf das mittlere Körpergewicht von 67,5 kg, ein "relatives Blutvolumen" von 74,4 ml/kg.

Getrennt für Männer und Frauen:
Der Mittelwert für gesunde Männer beträgt, bei einem mittleren Gewicht von 71,7 kg, 82,2 ml/kg.
Für Frauen ergeben sich 66,6 ml/kg, bei einem mittleren Gewicht von 63 kg.

c) 1. Blutvolumen bei Adipositas und Untergewicht:

Es zeigt sich, dass bei mittleren Gewichten von 99,8 kg (Männer) und 80,7 kg (Frauen), die relative Blutmenge stark herabgesetzt ist: Männer: 65,6 ml/kg, Frauen: 48,8 ml/kg. Im Gegensatz dazu ist bei Untergewicht das relative Blutvolumen deutlich vermehrt: für Männer bei einem mittleren Gewicht von 55,7 kg: 101,7 ml/kg. Für Frauen 80,7 ml/kg, bei einem mittleren Gewicht von 43,1 kg.

2. Das Blutvolumen bei Herzinsuffizienz:

Einem absoluten Volumen der Männer von 6,1 l und 5,3 l der Frauen, welches im Falle der Männer noch im Bereich der Norm liegt, entsprechen deutlich erhöhte relative Volumina von 101,0 ml/kg bzw. 93,5 ml/kg.

3. Das Blutvolumen bei Polyglobulie:

Eine statistisch signifikante Vermehrung des Gesamtblutvolumens kann nicht gezeigt werden.

4. Blutvolumen bei Polycythaemia vera:

Es zeigt sich bei mittleren Gewichten, die im Bereiche der Norm liegen, eine Zunahme der Gesamtblutmenge: Als Mittelwert ergibt sich für Männer 109,5 ml/kg Körpergewicht, für Frauen 91,4 ml/kg Körpergewicht.

d) Ein Beitrag zur Volumenregulation unter balneologischer Belastung:
Bei keiner der untersuchten Personen konnte eine Veränderung des Blutvolumens festgestellt werden, die ausserhalb der Streubreite der Methode lag.

e) Blutvolumen während der extracorporalen Dialyse:

In allen Fällen kann eine Abnahme des Blutvolumens gezeigt werden, welche einerseits auf Sedimentation der Erythrocyten im Dialyseschlauch bei erhaltenem zentralem Plasmastrom, andererseits auf Ultrafiltration von Blutflüssigkeit durch die Dialysiermembran, zurückzuführen ist.

Literaturverzeichnis

1. ANDREAS, B.:
A. Med. Ass. 29, 2167,2170 (1959)

2. ALWALL, N.:
Acta Chir. Scand. 108, 95 (1954)

3. BARCROFT, H. u.Mitarb.:
Die Stellung der Milz im Kreislaufsystem.
Ergebn. Physiol. 25, 818 (1926)

4. BASS, D.E. a.Collab.:
Comparison of Blood Volume during Physical Conditioning, Heat Acclimatisation and Sedentary Living.
J. appl. Physiol. 12, 186 (1958)

5. BERLIN, N.J. a. Collab.:
Blood Volume in Polycythemia as determed by P^{32} labelled Red Blood Cells.
Am. J. Med. 9, 747 (1953)

6. BERSON, R. a.Collab.:
Distribution and Degradation of J^{131} Alb.
J. Clin. Invest. 32, 8 (1953)

7. BOCK, H.E. und L. WEYAND:
Dtsch. Arch. klin. Med. 184, 369 (1939)

8. BOCK, H.E. und F. THEDERING:
Dtsch. Arch. klin. Med. 199, 13o (1952)

9. BOCK, H.E.:
Med. Welt 1 (1963)

10. BROWN, E., SHEARD:
Measurements of Skin Capillaries Increases of Polycythemia vera in the Production of Erythrosis.
J. Clin. Invest. 2, 423 (1926)

11. BROWN, E. a.Collab.:
Blood Volume and its Regulation.
Annual Review of Physiology Vol. 19 (1957)

12. BUSKIRK, E.R.:
Relationships in man between the Maximal Oxygen Intake and Components of Body Composition.
Ph. D. Thesis University of Minesota (1953)

13. CHAPLIN, H. et al.:
J. Clin. Invest. 32, 1309 (1953)

14. DEITRICK:
A. J. Med. 4, 3 (1948)

15. DOYLE, J.T. a. Coll.:
The Pulmonary Vasculare Response to Short Term Hypoxia in Human Subjects.
Circulation 5, 263 (1952)

16. DÜRR, F., H. NIETH, W. KAUFMANN, M. GOTTWIK:
Blutvolumenkontrolle mit dem Volemetron bei extracorporaler Dialyse n.n.v.

17. EDWARDS, K.D. and H.M. WHYTE:
Clin. Sci. 19, 399 (1960)

18. EICHNA, L.W. and S.J.FARBER:
Cardiovascular Dynamics, Blood Volumes, Renal Functions Electrolyte Excretions in the same Patients during Heart Failure and after Recovery of Cardiac Compensation.
J. Clin. Invest. 30 ‹1250

19. ERSLEV, A.J. u.Mitarb.:
Proc. Exp. Med. 70, 11 (1949)

20. GAUER, O.H. und J.P. HENRY:
Beitrag zur Homöostase des extraart. Kreislaufs.
Klin. Wschr. 34, 356 (1926)

21. R. GROSS:
Vorlesung 12.11.1964 (Eigene Ergebnisse)

22. HEDLUND, S. u.Mitarb.:
Studies on Erythropoesis and total Red Cell Volume in Congestive Heart Failure.
Acta Med. Scand. Suppl. 284, 1 (1953)

23. HICKS, D.A. a.Collab.:
The prediction and estimation of normal Blood Volume.
Clin. Sci. 15, 557 (1956)

24. HUFF, R. and D. FELLER:
Relation of Circulating Red Cell Volume to Body Density and Obesity.
J. Clin. Invest. 35, 1 (1956)

25. KALLEE, E.:
Persönliche Mitteilung.
Med. Univ. Klinik Tübingen

26. W. KAUFMANN und MÜLLER, A.:
Expansion des Plasmavolumens nach rascher Verminderung der zirkulierenden Blutmenge.
Zeitschr. für Kreislaufforschung s. 719 (1958)

27. KJELLBERG, S.V. a.Collab.:
Increase of the amount of Hemoglobine and Blood Volume in Connection with Physical Training.
Acta physiol. Scand. 19, 146 (1949)

28. KOLFF, W.J.:
Circulation 15, 285 (1957)

29. KRIEGER, H. u.Mitarb.:
Proc. Soc. Exp. Biol. a. Med. 68, 511 (1948)

30. LAJTHA, L.G.:
Isotopes in Hematology.
Blackwell Publications, Oxford (1961)

31. LAWRENCE, I.:
Polycythemia Diagnosis and Treatment based on 303 cases.
New York and London, Grune and Stratton (1955)

32. LINKE, A. und F. LASCH:
Beitrag zur Chemotherapie der Polycythaemia vera.
DMW (1953)

33. LINKE, A. u. K. MATTHES:
Handb. der I. Med. IX 4, 661

34. MOENS, R.S. u.Mitarb.:
Utilisation de l'albumine - J^{131} pour la determination du volume plasmatique et du volume sanguin chez le sujet normal.
J. suisse de med. 92e annee 51, 1660, 52, 1697 (1962)

35. MORAVITZ, P. und R. SIEBECK; BOLLINGER:
Münch. Med. Wschr. 5, 1886

36. NIETH, H.:
Das Verhalten der zirkulierenden Blutmenge bei extracorporaler Dialyse.
Klin. Wschr. 36, 2, 15 (1958)

37. NOMOF, N. and Collab.:
Simultaneous Determinations of the Total Volume of Red Blood Cells by Use of Carbon Monoxide and Cr^{51} in Healthy and Diseased Men.
J. Clin. Invest. 33, 1382 (1954)

38. NYLIN, G. und F. HEDLUND:
Weight of Red Blood Corpuscles in Heart Failure determined with labelled Erythrocytes during and after Decompensation.
Amer. Heart J. 33, 770 (1947)

39. REIN, H.:
Die Blutreservoire des Menschen.
Klin. Wschr. 12, 1 (1933)

40. SARTORIUS, H.:
Extracorporale Dialyse.
Ferd. Enke-Verlag - Stuttgart, S. 126

41. SJÖSTRAND, T.:
Volume and Distribution of Blood and their Significance in Regulating Circulation.

42. Nach Society of Actuaries, Build and Blood Pressure, Study Bd. 1 (1959)

43. STEAD, E.A., DURHAM and Collab.:
Shock Syndrome produced by the Failure of the Heart.
J. Clin. Invest. 33, 578 (1954)

44. STEINBECK, A.W.:
J. Austr. Exp. Biol. Med. Sci. 28, 477 (1950)

45. TAYLOR, N.B.:
The Effect of Bed Rest on the Blood Volume of young Men.
A.J.Physiol. 144, 227 (1945)

46. THÖLEN, H.:
Mod. Prob. Pediat. 6, 544, Basel-New York: Karger (1960)

47. VETTER, H. und N. VEALL:
Radioisotopentechnik in klin. Forschung und Diagnostik.
Urban & Schwarzenberg (1960)

48. WAHLUND, H.:
The total amount of Hemoglobin and the Blood Volume in Polycythemia vera treated with Radiophosphorus.
Acta Med. Scand. 150, 199 (1954)

49. WENNESLAND, R. a.Collab.:
Red Cell, Plasma and Blood Volume in healthy man, measured by Cr^{51} cell tagging and Hematocrit.
Influence of age, somatotyp and habits of physical activity on the variance after regression of volumes to height and weight combined.
J. clin. Invest. 38, 7, 1065-1077 (1959)

50. WILLIAMS, J. and J. FINE:
New Engl. Journ. of Med. 264, 842-848 (1961)

51. WOLF, A.V. et al.:
J. Clin. Invest. 30, 1062 (1952)

52. WOLLHEIM, E.:
Die Bestimmung der aktiven Blutmenge mittels Evans Blue, P^{32} und Cr^{51}.
Klin. Wschr. 36, 800 (1958)

53. WRIGHT, S. and A. DURYEE:
Human Capillaries in Health and Disease.
Arch. Med. Intern. 52, 545 (1933)

Für die wohlwollende Förderung dieser Arbeit
bin ich meinem sehr verehrten Lehrer,

Herrn Prof. Dr. H. E. Bock

Direktor der Medizinischen Universitätsklinik
Tübingen, zu grossem Dank verpflichtet.

Weiterhin gilt mein aufrichtiger Dank insbesondere

Herrn Priv. Doz. Dr. W. Kaufmann

für die Themastellung und die zahlreichen
Anregungen zur Durchführung.

Den Angehörigen der Klinik danke ich für
ihr verständnisvolles Entgegenkommen.

Lebenslauf

Ich, Martin Gottfried Gottwik, wurde am 9. Juli 1940 in Münsingen als Sohn des Dr. med. Erich Gottwik und Frau Dora Gottwik geboren. Nach Besuch der Grundschule in Bichishausen und später der Gymnasien in Riedlingen und Reutlingen legte ich im März 1960 am Friedrich-List-Gymnasium in Reutlingen das Abitur ab.

Darauf begann ich das Studium der Medizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen. Ich bestand im März 1961 die Naturwissenschaftliche und im Oktober 1962 die Ärztliche Vorprüfung. Im 3. klinischen Semester studierte ich an der Medizinischen Fakultät der Universität Wien und ging dann zurück nach Tübingen, wo ich nach dem 6. klinischen Semester im Januar 1966 das Studium der Medizin mit dem Staatsexamen abschloß.